Untersuchungen über die hygroskopischen Eigenschaften der Kunstseide, der Kokonfäden und des Fischbeins.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen Philosophischen Fakultät

der

Universität Marburg

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

vorgelegt von

Hugo Stolze
aus Büdelsdorf (Kreis Rendsburg).

MARBURG 1914.

Von der Philosophischen Fakultät als Dissertation angenommen am 14. Dez. 1913.

Referent: Prof. Dr. F. Richarz.

Verlag von R. Trenkel in Berlin.

Meinen lieben Eltern

dankbar gewidmet.

Inhalt.

Seite

I. Einleitung 7
II. Allgemeiner Teil 10
1. Auswahl bestimmter Substanzen für weitere Untersuchungen (Überlegungen bei dieser Auswahl) 10
2. Die Versuchsanordnung 13
3. Die Versuche und ihre Ergebnisse 20
a) Allgemeines 20
b) Kunstseide 22
c) Kokon 26
d) Fischbein 28
III. Zusammenfassung und Beurteilung der Versuchsergebnisse . . 30
Tabellen 31

I.

Einleitung.

In den letzten Jahren ist mehrfach an richtig justierten Haarhygrometern die Beobachtung gemacht worden, daß sie Feuchtigkeitswerte über 100 % anzeigen. A. Wagner, der auf dem Hohen Sonnenblick [1]) zahlreiche Fälle dieser Art festgestellt hat, war der erste, der die Vermutung aussprach, daß tatsächlich bei diesen Erscheinungen Übersättigungen vorlägen. Bis dahin hatte man nämlich solche Beobachtungen als fehlerhafte Angaben des Haarhygrometers gedeutet. Diese Annahmen waren auch nicht völlig unberechtigt, da das Haarhygrometer kein allzu verlässiges Instrument ist. J. Pircher [2]) wies z. B. nach, daß die Angaben des Haares Fehler bis zu 5 % relativer Feuchtigkeit enthalten können. A. Wegener [3]) kam jedoch auf Grund seiner Beobachtungen auf der Danmarkexpedition zu demselben Schluß wie Wagner. Er veranlaßte daher Herrn Ad. Weber im Marburger Physikalischen Institut, die systematische Untersuchung des Haares auf die Fähigkeit, Übersättigungen anzeigen zu können, vorzunehmen.

Adolf Weber [4]) stellte in diesen Versuchen fest, daß

---

[1]) A. Wagner: Untersuchungen der Wolkenelemente auf dem Hohen Sonnblick. Wiener Sitzungsber. Bd. 177, II a. Dez. 1908.

[2]) J. Pircher: Über die Haarhygr. Denkschriften der K. Akademie der Wissensch. Bd. 73 S. 267. Wien 1901.

[3]) A. Wegener: Meteorol. Terminbeobachtungen a. Danmarks-Havn. Blanco Lunos Bogtrykeri Kopenhagen 1911.

[4]) Ad. Fr. Weber: Inaug.-Diss. Marburg 1912. Referate: Naturw. Rundschau 1912, Nr. 44 S. 563; Meteorologische Zeitschrift 1913, Heft 1 S. 41.

das Haar tatsächlich fähig ist, Feuchtigkeitswerte oberhalb des Sättigungspunktes anzuzeigen. Zu diesem Zweck erzeugte er künstliche Übersättigungen der Luft mit Feuchtigkeit. Er erreichte dies durch plötzliche Druckerniedrigung in einem mit Feuchtigkeit gesättigten abgeschlossenen Luftvolumen. In diesem Versuchsraum hatte er alle Staubteilchen entfernt. Dadurch war der Feuchtigkeit, die infolge der Abkühlung überschüssig geworden war, die Möglichkeit genommen, sich zu kondensieren, und es mußte Übersättigung eintreten. Die Haare zeigten eine meßbare Verlängerung über die Sättigungslänge. Da jedoch infolge des Wärmeaustausches mit der Umgebung der Grad der Übersättigung sich ziemlich schnell veränderte, so waren diese Versuche gleichzeitig stark beeinflußt durch die Trägheit des Haares oberhalb des 100 % - Punktes. Indem man die für aufeinanderfolgende Zeitpunkte aus den gemessenen Abkühlungen berechneten Übersättigungen im Versuchsraum mit den Werten verglich, welche die untersuchten Haare anzeigten, ergab sich, daß die Haare den ziemlich schnellen Änderungen der Feuchtigkeit nicht vollständig zu folgen vermochten. Die Kurve der berechneten Werte an Übersättigung und die Kurve der von den Haaren angezeigten Übersättigungen schnitten sich im absteigenden Ast der ersten und im Maximum der anderen. In diesem Schnittpunkte zeigte also das Haar einen richtigen Wert an, in den Zeitpunkten vorher dagegen infolge der Trägheit einen zu niedrigen und in den Zeiten danach einen zu hohen Wert.

Das Ergebnis der Weberschen Untersuchungen ist also kurz: Das Haar zeigt zwar Feuchtigkeitswerte über 100 % an, doch ist es infolge seiner Trägheit nur für langsame Änderungen dieser hohen Feuchtigkeit praktisch verwendbar.

Es war wünschenswert, Substanzen zu finden, die zunächst ebenso wie das Haar Übersättigungen anzeigen, dann aber auch über 100 % auf Feuchtigkeitsschwankungen schneller reagieren. Herr Prof. Richarz ließ deshalb im Marburger Physikalischen Institut verschiedene Substanzen

auf diese Fähigkeit untersuchen. Für Films wies W. Oehmichen[1]) nach, daß sie diesen Hoffnungen nicht entsprachen. Meine Aufgabe war es, die drei Substanzen Kunstseide, Kokon und Fischbein auf dieses hygrometrische Verhalten zu untersuchen.

---

[1]) W. Oehmichen: Über die Verwendbarkeit von Films zu Messungen der rel. Feuchtigkeit. Marburg 1913. Inaug.-Diss.

II.

Allgemeiner Teil.

1. Auswahl bestimmter Substanzen für weitere Versuche (Überlegungen bei dieser Auswahl).

Der Grund dafür, daß gerade die Substanzen Kunstseide, Kokon, Fischbein für die Untersuchung ausgewählt wurden, lag in folgenden Überlegungen.

Die beiden vorher untersuchten Substanzen waren in bezug auf ihr Quellungsverhalten von sehr verschiedener Art. Während die hygroskopischen Eigenschaften des Haares auf einem ziemlich komplizierten Quellungsvorgang beruhen, ist der Vorgang bei der Gelatine der einer eigentlichen, sogenannten molekularen Quellung.

Unter Quellung oder Imbibition versteht man die Aufnahme einer Flüssigkeit durch einen festen Körper, ohne daß eine chemische Veränderung stattfindet. Für gewöhnlich faßt man unter diesem Namen drei verschiedene Vorgänge zusammen, die aber trotzdem streng zu scheiden sind. Das sind 1. Die kapillare Quellung: Die Erscheinung, daß eine poröse Masse in ihre Hohlräume, die also nach außen offen sind, Flüssigkeit aufnimmt (Fick)[1]), 2. Die Quellung durch Endosmose: Der Vorgang, daß eine Masse in abgeschlossene, mit löslichen Stoffen oder Flüssigkeiten gefüllte Hohlräume (Zellen) Flüssigkeit aufnimmt, 3. Die molekulare Quellung (Fick)[1]): Die Erscheinung, daß eine homogene porenfreie Masse unter Volumvergrößerung Flüssigkeit aufnimmt.

---

[1]) A. Fick: Die medizinische Physik, Braunschweig 1885.

Von diesen drei Arten der Quellung ist die kapillare durch die Gesetze der Kapillarität, die endosmotische durch die Gesetze der Osmose zu erklären. Was die molekulare Quellung betrifft, so bestehen darüber drei Ansichten. Die älteste ist die von Nägeli. Nach ihr soll das Wasser mit dem gequollenen Körper eine feste Lösung bilden. Eine andere ist die, daß die Flüssigkeit an der Oberfläche der Körper adsorbiert sei. Eine dritte Auffassung, die anfangs viel Aufsehen erregte, ist die Bütschlis. Da sich diese Theorie auf zahlreiche Versuche mit Kolloiden stützt, so sei zunächst einiges über Kolloide vorausgeschickt. Denn die Kolloide sind ja die eigentlichen Körper mit molekularer Quellung.

Durch seine Versuche über die Diffusion gelöster Körper kam Graham[1]) zur Unterscheidung zweier Klassen. Die Lösungen der einen lassen den gelösten Körper sehr rasch in reines Wasser diffundieren, die Lösungen der anderen dagegen brauchen zu diesem Vorgang sehr lange Zeit oder zeigen überhaupt keine Diffusion. Bei dieser Unterscheidung ergab sich, daß zu den schnell diffundierenden Lösungen nur Körper gehören, die kristallisieren können, wohingegen zur anderen Gruppe nur Lösungen amorpher Körper zählen. Graham teilte demnach alle löslichen Körper in die schnell diffundierenden Kristalloide und die langsam diffundierenden Kolloide. Diese Unterscheidung gilt jetzt nicht mehr, da sich alle Körper in kristallinischer und in kolloidaler Form darstellen lassen.

Heute versteht man in der Regel unter kolloidalen Lösungen Flüssigkeiten, die zwar an und für sich homogen erscheinen, aber durch bestimmte physikalische Beobachtungsmethoden und durch gewisse Eigenschaften Anzeichen einer Inhomogenität erkennen lassen. Vor allen gehören hierzu die Lösungen hochmolekularer Verbindungen, besonders der Eiweißkörper. Ferner rechnen z. B. die kolloidalen Metalllösungen hierzu.

---

[1]) Phil. Trans. 151, 183 [1861], Ann. der Physik 121,1 [1862].

Die kolloidalen Lösungen zeigen das eigentümliche Verhalten, durch gewisse Einwirkungen, seien es nun mechanische, der Wärme oder chemischer Reagentien, den gelösten Körper in unlöslicher Form auszuscheiden, zu gerinnen. Graham unterschied daher zwischen dem Sol, d. h. der kolloidalen Auflösung und dem Gel, dem sich unlöslich ausscheidenden Körper.

Diese Gele werden auch im weiteren Sinne als Kolloide bezeichnet. Es sind also feste oder halbfeste Mischungen von Flüssigkeiten mit festen Stoffen, welche durch Ausfällung des scheinbar gelösten Stoffes aus kolloidalen Lösungen entstehen. Es rechnen auch dazu gewisse organbildende, meist quellbare Substanzen wie Zellulose, Glutin und Elastin.

Schon Nägeli[1]) hat die Ansicht ausgesprochen, daß amorphe Körper sich aus Flüssigkeiten in kleinen Molekülkomplexen abscheiden könnten. Er nahm auch von diesen Mizellen, wie er sie nannte, an, daß sie sich zu einem Netz zusammenfügen könnten, das Flüssigkeiten einschlösse. Diese Anschauung wurde dann von J. van Bemmelen[2]) weiter ausgebaut.

Die äußerst eingehenden Versuche O. Bütschlis schienen diese theoretischen Annahmen bestätigen zu können. Es gelang ihm nämlich, wie er glaubte, die Mikrostruktur der Gele nachzuweisen. Die ersten vermeintlichen Beobachtungen mikroskopischer Wabenstruktur machte er an Schäumen[3]), wie sie z. B. aus Olivenöl und Wasser entstehen. Die polygonalen Maschen hatten hier nach seinen Messungen eine Weite von 0,005 bis 0,001 mm.

Die Vergrößerung war bei diesen Versuchen 1800 bis 1970 fach.

---

[1]) Nägeli: Die Theorie der Gärung, München 1879.

[2]) Zeitschrift für anorganische Chemie 13, S. 304 (1896); 18, S. 15 (1898).

[3]) Bütschli: Unters. über mikr. Schäume und das Protoplasma. Leipzig 1892.

Die Ergebnisse Bütschlis beruhen jedoch auf einer Täuschung, da man, wie sich inzwischen ergeben hat, und zwar aus der Abbeschen Theorie der optischen Bilderzeugung, bei so hohen Vergrößerungen nicht auf die Form der Strukturen schließen darf [1]).

Das Haar zeigt, wie schon angedeutet ist, in seinem hygroskopischen Verhalten einen Quellungsvorgang, der sicher bedeutend komplizierter ist als der einer einfachen molekularen Quellung. Wahrscheinlich sind hier alle drei oben definierten Arten der Quellung wirksam. Da nun die Gelatine mit ihrer molekularen Quellung nicht auf Übersättigung reagiert, so lag die Vermutung nahe, daß die Fähigkeit des Haares, diese hohen Feuchtigkeitswerte anzeigen zu können, in seinem komplizierten Quellungsvorgang, wenn auch noch in unaufgeklärter Weise [2]) zu suchen ist. Ich untersuchte daher zunächst zwei Kolloide. Als aber auch hier wie bei der Gelatine eine Einwirkung der Feuchtigkeitswerte über 100 % nicht festzustellen war, ging ich zu einer Substanz über, die, näher verwandt mit Haar, ähnlich wie dieses gebaut ist, nämlich Fischbein. Leider überdeckte hier eine Nebenerscheinung völlig das Ergebnis, so daß nicht festzustellen war, ob die komplizierte Quellung die Substanz dazu befähigt, Übersättigung anzuzeigen.

2. Die Versuchsanordnung.

Die von mir verwandte Untersuchungsmethode ist im wesentlichen die Ad. Webers [3]) Als Versuchsraum diente eine Glasglocke von 43 cm Durchmesser und annähernd 60 cm Höhe (Fig. 1), die einen Tubus mit aufgekitteter planparalleler Glasplatte trug. Dadurch, daß die Glocke von so großen Abmessungen war, befanden sich

[1]) R. Zigmondy, Ztschr. anorg. Ch., Bd. 71 S. 356; Chem. Ztg. Repert. 1911, S. 465; Chem. Ztg. 1913 37, S. 1496.

[2]) Die Theorie Sresnewskys befriedigt nicht. Théorie de l'hygromètre à cheveu. Russ. Met. Zeitschrift, 1895. S. auch Ad. Weber, Inaug.-Diss. S. 12.

[3]) Ad. Fr. Weber: Inaug-Diss. Marburg 1912.

die zu untersuchenden Substanzen in genügender Entfernung von den Glaswänden. Die störenden Einflüsse, die durch das Beschlagen der Wände auftreten können, waren auf diese Weise verringert. Außerdem hatte ich alle Glasteile vor ihrem Aufbau mehrfach mit Salpetersäure und Wasser bespült. Hierdurch waren Alkalien, die ja wegen ihrer hygroskopischen Eigenschaften die Übersättigungen sehr erschwert hätten, möglichst entfernt worden. Aus demselben Grunde hatte ich durch die Versuchsglocke mit ihrer großen schädlichen Oberfläche mehrere Tage hindurch Wasserdampf von 100° streichen lassen, da er die Alkalien sehr energisch löst.

Die verschiedenen Feuchtigkeitsgrade im Versuchsraum erzielte ich durch Hindurchsaugen trockener oder feuchter Luft. Zu dem Zwecke besaß die 2 cm dicke Glasplatte, auf welche die Glocke mit Wachskitt aufgekittet werden konnte, eine weite Durchbohrung. Hierin waren zwei Glasröhren gut verkittet, von denen die eine zum Vakuum, das aus fünf großen Glasballons bestand, die andere zum Sättigungsapparat führte. Dieser Apparat bestand aus einem Pettenkoferschen Rohre und zwei Waschflaschen, die alle drei Wasser enthielten. Die Luft, die durch die Glocke gesaugt werden sollte, trat durch eine feine Spitze in das Pettenkofersche Rohr ein und perlte in kleinen Blasen hindurch, so daß sie sie sich schon stark mit Feuchtigkeit anreicherte. Dann gelangte sie in die erste Waschflasche. Diese wurde geheizt, damit die Luft durch Abkühlen in der zweiten Waschflasche vollständig gesättigt wurde. Auf diese Weise konnte allmählich der Feuchtigkeitsgehalt der Versuchsglocke bis fast auf 100 % gebracht werden. Den Sättigungspunkt selbst erzeugte ich jedoch, wenn es galt, eine Substanz zu eichen, stets nach der Methode von Kleinschmidt [1]). Er bringt unter die Glocke ein Schälchen mit warmem Wasser, bis sich die Wände gleichmäßig mit

---

[1]) E. Kleinschmidt: Feuchtigkeitsmessungen bei Registrierballonaufstiegen. Beitr. zur Physik der freien Atm. 2, 1906—1908 S. 99.

Feuchtigkeit beschlagen haben. Durch plötzliche Druckerniedrigung erreicht er dann, daß Nebel eintritt und die Glocke sicher mit gesättigter Luft angefüllt ist. Um jedoch das Beschlagen der zur Messung dienenden Skala zu vermeiden, nimmt man besser die Sättigung der Glocke auf einer besonderen Glasplatte vor und stülpt sie dann erst über die zu messenden Apparate.

Um die Substanzen auch bei niederen Feuchtigkeitsgraden untersuchen zu können, schaltete ich parallel zum Sättigungsapparat ein Chlorkalziumrohr. Durch geeignete Hahnstellung konnte ich dann die Glocke entweder mit dieser Trockenröhre oder dem Sättigungsapparat verbinden und so trockenere oder feuchtere Luft, als sich in der Glocke befand, hindurchsaugen.

In der Glasglocke befand sich ein Glasgestell, das die zu untersuchende Substanz und alle zur Messung dienenden Einrichtungen trug. In der Höhe des Tubus der Glocke war an dem Gestell eine Glasskala festgekittet. Sie war in 10tel Millimeter geteilt und wurde von hinten durch einen Auerbrenner beleuchtet. Zur Absorption der Wärmestrahlung befand sich zwischen dem Brenner und der Glocke ein Glastrog mit Wasser. Die Skala konnte ich durch den Tubus der Glocke hindurch mit Hilfe eines etwa achtfach vergrößernden Mikroskops beobachten.

Um in der Glocke Übersättigungen hervorbringen zu können, mußten die Ansatzkerne aus ihr entfernt werden. Dann war bei einer Entspannung dem Wasserdampf die Möglichkeit genommen, sich zu kondensieren, und es mußte Übersättigung eintreten. Da es sich bei diesen Versuchen nicht um sehr hohe Übersättigungen handelte, so genügte es, die Staubteilchen und hygroskopischen Kerne aus der Glocke zu entfernen. Diese dienen nämlich bis zu einer gewissen Größe der Entspannung dem Wasserdampf als Ansatzkerne. Entspannt man über diese Grenze hinaus, so kann trotz des Fehlens der Staubteilchen Kondensation eintreten, weil von da ab die Jonen als Kerne dienen. Da aber nur Übersättigungen von etwa 140 % nötig waren, die

mit ungefähr 10 cm Entspannung erreicht wurden, so kam es nur darauf an, die Staubteilchen aus dem Versuchsraum zu entfernen[1]).

Ich mußte also zunächst die Glocke mit möglichst staubfreier feuchter Luft füllen. Zu dem Zweck waren in den Sättigungsapparat zwei Wattefilter eingeschaltet (Fig. 1), um möglichst viel Staubteilchen beim Hindurchsaugen der Luft zurückzuhalten. Da aber die Glocke hierdurch nicht vollständig staubfrei wird, so entfernte ich durch Kondensation die letzten Kerne. Durch plötzliche Entspannung unter der Glocke mit Hilfe des Vakuums kondensierte sich eine gewisse Dampfmenge und schlug damit Staubteilchen nieder. Dies Verfahren wiederholte ich so oft, bis alle Kerne entfernt waren. Zwischen den einzelnen Entspannungen wurde natürlich so lange gewartet, bis sich in der Glocke wieder der Sättigungszustand hergestellt hatte. Denn durch das Ausfallen des Nebels und den Wärmeaustausch mit der Umgebung war die relative Feuchtigkeit der Luft in der Glocke zunächst sehr gesunken.

Die Größe der Übersättigung wurde berechnet, und zwar mit Hilfe der Temperatur, die in dem Augenblick der adiabatischen Abkühlung herrschte. Zur Messung dieser Temperatur diente ein Bolometer, das an dem erwähnten Glasgestell unter der Glocke hing. Es war aus 0,02 mm dünnem Platindraht auf einem paraffinierten Schieferrähmchen zweiteilig in mehreren Windungen gewickelt. Das Instrument lag mit jeder Hälfte in einem Zweige einer Wheatstoneschen Brücke[2]). Die Zuleitungen des Bolometers zur Brücke gingen durch die schon erwähnte Durchbohrung der Grundplatte und waren gut paraffiniert. Die Vergleichswider-

---

[1]) G. T. R. Wilson: Phil. Trans. Bd. 193 A. 289. London 1899. E. Barkow: Versuche über Entstehung von Nebel . . . Inaug.-Diss. Marburg 1906. Ann. der Phys. 23 S. 317. 1907.

[2]) Rob. v. Helmholtz: Über ein Bolometer. Verhandl. der Physik. Gesellsch. Berlin, 7, S. 71—73, 1888. O. Lummer und F. Kurlbaum: Bolom. Unters. Wied. Ann. der Phys. und Chem. Neue Folge 46, S. 204, 1892.

stände der Wheatstoneschen Brücke befanden sich zum Schutz gegen Temperaturschwankungen in einer Kiste mit Watte. Das Bolometer wurde geeicht und die gefundenen Werte in einer Kurve zusammengestellt. Der Meßbereich des Instrumentes betrug ungefähr 9°. Er erstreckte sich von ungefähr 12 bis 21°.

In der Glasglocke wurden Metallteile möglichst vermieden, da Metalloxyde wegen ihrer rauhen und somit großen Oberfläche die Kondensation erleichtern und begünstigen und die Übersättigung erschweren. Die Metallteile, die sich jedoch nicht umgehen ließen, waren gut paraffiniert.

Zur Aufhängung der zu untersuchenden Substanz verwandte ich die schon von Weber[1]) benutzte Anordnung.

An dem schon erwähnten Glasgestell befestigte ich in ungefähr 20 cm Abstand zwei Fäden der Substanz, so daß sie beide vertikal und nicht zu lose aufgespannt waren. Diese beiden lotrechten Fäden verband ich in ihren Mitten durch einen dritten Faden der Substanz. Die Befestigung der senkrechten Fäden am Glasgestell geschah durch Wachskitt, während der wagerechte an die anderen einfach durch Knoten geheftet wurde. Der wagerechte Faden trug in seiner Mitte eine Belastung, die gleichzeitig als Index für die Skala diente.

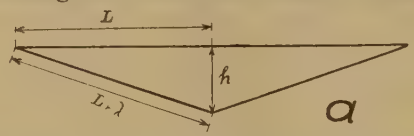
Diese Kreuzaufhängung verwandte ich jedoch nur, wenn die Substanz nicht sehr empfindlich war. So mußte ich, um für Kokon und Fischbein die Möglichkeit herzustellen, für die Übersättigungsversuche genügende Empfindlichkeit zu erhalten, diese Anordnung wählen. Dagegen war Kunstseide empfindlich genug, um als einfach hängender Faden von etwa 18 cm Länge einen genügend großen Ausschlag zu geben.

Um das Verhalten eines hygroskopischen Körpers oberhalb 100% Feuchtigkeit kennen zu lernen, ist es natürlich erforderlich, auch bei niederen Feuchtigkeitsgraden, überhaupt das ganze hygroskopische Verhalten der Substanz zu

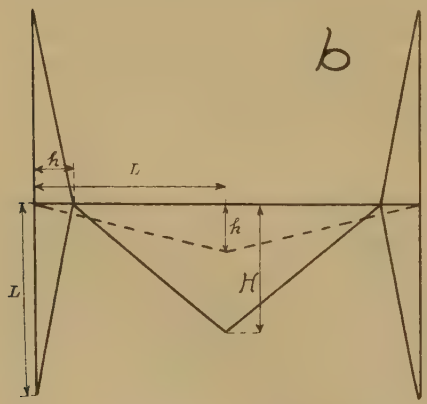
[1]) Ad. Weber: Inaug.-Diss. S. 29. Marburg, 1912.

untersuchen. Wenn ich auch bei den Versuchen mit Übersättigung für Kokon und Fischbein die Kreuzaufhängung wählte, so bediente ich mich jedoch auch bei diesen beiden eines einzelnen hängenden Fadens, um die sonstigen hygroskopischen Eigenschaften festzustellen. Die Kreuzanordnung liefert nämlich keine proportionalen Ausschläge.

Hiervon kann man sich leicht durch folgende Überlegung überzeugen. Wir betrachten zunächst einen einfachen, zwischen zwei festen Punkten aufgespannten Faden. Dabei nehmen wir zur Vereinfachung an, daß der Faden straff zwischen den Aufhängepunkten, also ohne Durchbiegung, befestigt ist. Bezeichnen wir (siehe nebenstehende Figur a) seine halbe Länge mit L, die Verlängerung von L infolge einer gewissen Feuchtigkeitsänderung mit λ, die Durchbiegung mit h, so ist



$$h^2 = (L + \lambda)^2 - L^2$$
$$h^2 = 2L\lambda.$$



Hierbei ist λ^2 vernachlässigt, da schon λ im Vergleich zu L eine sehr kleine Größe ist. Also ist

$$h = \sqrt{2L\lambda}.$$

Dies wenden wir auf die Kreuzaufhängung an. Zur Vereinfachung der Rechnung nehmen wir an, daß alle drei Fäden gleich lang und ohne Durchbiegung aufgespannt seien. Tritt dann infolge einer Feuchtigkeitserhöhung Verlängerung der Fäden ein, so erleidet der mittlere Faden eine doppelte Durchbiegung (Fig. b). Die eine rührt von der Verlängerung dieses Fadens her und ist gleich h, die andere kommt daher, daß seine Aufhängepunkte wegen der Durchbiegung der seitlichen Fäden je um die Strecke h nach innen ver-

schoben werden. Nennt man die Gesamtdurchbiegung des mittleren Fadens H, so ist

$$H^2 = (L + \lambda) - (L - h)^2$$
$$H^2 = 2L\lambda + 2Lh - h^2,$$

oder wenn man für h seinen Wert einsetzt,

$$H^2 = 2L\lambda + 2L\sqrt{2L\lambda} - 2L\lambda$$
$$H^2 = 2L\sqrt{2L\lambda}$$

$$H = \sqrt{2L\sqrt{2L\lambda}} = \sqrt{2L\sqrt{L}}\sqrt[4]{\lambda}.$$

$$H = \text{Const.}\ \sqrt[4]{\lambda}.$$

Die Ausschläge, welche die an dem wagerechten Faden befestigte Marke anzeigt, sind also keineswegs den Verlängerungen der einzelnen Fäden proportional, sondern verhalten sich wie die vierten Wurzeln aus den λ.

Hieraus erklärt sich auch die mehrfach von mir beobachtete Erscheinung, daß Substanzen, welche sich nicht proportional mit den Feuchtigkeitsänderungen verlängern, dennoch in der Kreuzaufhängung annähernd eine grade Linie als Eichkurve zeigen. Das ist natürlich nur der Fall, wenn diese Substanzen als einfach hängende Fäden Längenänderungen aufweisen, die mit zunehmender Feuchtigkeit anwachsen, wie es ja nach Figur 2 für Kunstseide und Fischbein der Fall ist.

Aus der abgeleiteten Formel $H = \sqrt{2L\sqrt{2L\lambda}}$ kann man die starke Vergrößerung der Empfindlichkeit dieser Anordung erkennen. Es sei $\lambda = \varepsilon L$, wo ε eine reine Zahl von kleinem Werte ist, dann wird $H = L\sqrt{2\sqrt{2\varepsilon}}$. Ersichtlich muß der Faktor von L im Werte von H der Eins bedeutend näher liegen als ε. Ist beispielsweise $\varepsilon = {}^1/_{80000}$, so wird $H = 0{,}1 \cdot L$, also eine 8000fache Vergrößerung.

Da sich die Fischbeinlamellen, die ich verwandte, nicht knoten ließen, so verfertigte ich winzige Messingklemmen, die ich natürlich paraffinierte, um die auf S. 25 erwähnte Eigenschaft der Oxyde auszuschalten. Die Klemmen bestanden aus einem Stückchen Draht von 10 mm Länge und 3 mm Durchmesser. Bis auf die Hälfte seiner Länge war dieses Drahtstück mit einem Einschnitt versehen. Quer durch das Stäbchen, senkrecht zum Einschnitt, ging eine Gewindebohrung, in die ein winziges Schräubchen paßte. Der Einschnitt ließ sich also durch das Schräubchen an den Lamellen festklemmen. Je zwei dieser Klemmen waren an ihrem nicht eingeschnittenen Ende durchbohrt und durch einen Ring verbunden. Sie bildeten also ein Gelenk. Das war nötig, damit die Bewegungsfreiheit an den Knotenpunkten der Kreuzaufhängung nicht beeinträchtigt würde.

3. Die Versuche und ihre Ergebnisse

a) Allgemeines.

Die Untersuchung jeder Substanz begann ich damit, eine passende Belastung auszuprobieren, die ich dann als richtig ansah, wenn die hygroskopischen Veränderungen der Substanz unter dieser Belastung reversibel waren. Bei zu geringer Belastung schwankt die Einstellung beim Hin- und Rückgang derart, daß überhaupt keine Gesetzmäßigkeit auftritt. Bei zu großer Belastung tritt ein Strecken der Substanz ein. Die Einstellung erreicht dann in keinem Punkte des Rückganges den entsprechenden des Hinganges. Nachdem ich die geeignete Belastung ermittelt hatte, konnte ich die Substanz eichen, und zwar mehrere Male in langsam an- und absteigender Feuchtigkeit. Jede Substanz wurde mit einem Koppeschen Haarhygrometer geeicht, das selbst sorgfältig justiert und mit einem Psychrometer verglichen war. Die bei dieser Eichung erhaltenen Punkte ergaben eine Kurve, die sich beim Hin- und Rückgang deckte, soweit es die Ablesungsfehler gestatteten (Fig. 2).

War das Verhalten der Substanz unter 100% ermittelt,

so ging ich dazu über, in der schon angegebenen Weise die Luft in der Glocke kernfrei zu machen. Wenn dies gelungen war, konnte ich daran gehen, die Substanz bei Übersättigung zu untersuchen. Durch eine Entspannung von ungefähr 10 cm erreichte ich in der Glocke Übersättigungen bis zu 140%. Ich berechnete sie nach der Formel

$$R\nu = 100 \cdot \frac{e\vartheta_0 R_0}{E\vartheta\nu} \text{ [1]},$$

Hierin bedeutet $e\vartheta_0 R_0$ die Dampfspannung bei der Temperatur ϑ_0 und der an der Skala abgelesenen Feuchtigkeit R_0 zu Anfang des Versuches. Ferner ist $E\vartheta\nu$ die Maximaldampfspannung für die Temperatur $\vartheta\nu$, die nach $\nu \cdot 5$ Sekunden erreicht war. Bei diesen Versuchen mit Übersättigung hatte ich unter der Versuchsglocke ein Augustsches Psychrometer stehen. Es sollte nebenher beobachtet werden, ob es vielleicht die Übersättigungen anzeigte. Da sich nämlich an Wasseroberflächen auch bei Kernfreiheit der Luft Feuchtigkeit kondensiert, so mußte das mit dem feuchten Musselinläppchen umwickelte Thermometer eine höhere Temperatur anzeigen als das trockene. Denn es macht sich ja bei dem feuchten Thermometer die Kondensationswärme geltend. Es zeigte nun auch tatsächlich bei diesen Entspannungen um $^1/_2{}^0$ höher als das trockene. Daß die Wirkung nicht größer war, liegt an der Trägheit der Thermometer. Aus demselben Grunde ist es auch nicht sicher, ob die Erscheinung durch die Kondensationswärme hervorgerufen war oder ob das Musselinläppchen die Wärmeabgabe an die Umgebung verhindert und somit die Trägheit begünstigt hat. Würde man jedoch das trockene Thermometer mit einem Läppchen umwickeln, das mit Öl von denselben Wärmeeigenschaften wie Wasser getränkt wäre, so wären auch hier die Bedingungen für die Wärmeabgabe dieselben wie beim feuchten Thermometer. Dann

---

[1]) Ad. Weber: Inaug-Diss. S. 35. Marburg 1912.

wäre vielleicht zu entscheiden, ob von der Kondensation des Wasserdampfes, mithin auch von der Übersättigung eine Eiwirkung stattfände.

b) Kunstseide.

An Kunstseide standen mir zwei Sorten zur Verfügung, die eine von den Vereinigten Glanzstoffabriken in Elberfeld und die andere aus den Vereinigten Kunstseidefabriken in Kelsterbach a. M. Den beiden Fabriken möchte ich auch an dieser Stelle für die bereitwillige Überlassung einer reichlichen Menge für meine Versuche bestens danken; ebenso Herrn Dr. Theodor Körner hierselbst für den freundlichen Hinweis auf dieselben. Die Elberfelder Kunstseide ist nach dem Kupferoxydammoniakverfahren, die andere nach dem ältesten, dem Verfahren von Chardonnet, hergestellt. Dieses besteht darin, daß zunächst Zellulose mit Salpetersäure in eine Nitrozellulose niederer Nitrierung, eine solche, bei der ein Molekül $C_6 H_{10} O_5$ nur ein bis zwei Nitratgruppen ($— NO_3$) aufnimmt, verwandelt wird. Diese sogenannte Kollodiumwolle ist in einem Gemisch von Alkohol und Äther löslich und stellt dann das käufliche Kollodium dar. In diesen Zustand muß man die Substanz überführen, um ihr die gewünschte Form geben zu können. Das Kollodium wird nämlich unter hohem Druck durch sehr feine Düsen gepreßt, die sich unter Wasser befinden, wo sich dann feste Fäden der Nitrozellulose bilden. Diese Fäden werden schließlich denitriert und sind so wieder reine Zellulose geworden.

Die andere Methode gründet sich auf der Löslichkeit der Zellulose in Kupferoxydammoniak. Die dicke blaue Lösung treibt man wieder durch feine Öffnungen, und zwar in eine Säure hinein, wo sie sofort zu Zellulose sich zurückverwandelt. Das Produkt heißt Glanzstoff.

Bei beiden Kunstseidearten waren die Ergebnisse in bezug auf ihre hygrometrischen Eigenschaften ziemlich gleich. Sie besitzen zwar große Reißfestigkeit, aber die Belastung muß dennoch sehr klein sein, um reversible

Gänge zu geben. Bei zu großer Belastung tritt ein starkes Strecken, besonders bei Sättigung auf, und die hygroskopische Zuverlässigkeit verringert sich sehr. Die Kunstseide erholt sich fast gar nicht von dieser Zerrung, die bei einem 18 cm langen Faden bis zu 3 cm betragen kann. Die von mir angewandte Belastung des Fadens war bei beiden Sorten nicht ganz 0,01 g und bestand aus einem kleinen Stückchen Draht. Die erste Prüfung der Kunstseide auf Hogroskopie ergab eine überraschend große Empfindlichkeit. Leider stellte sich bei genauerer Eichung heraus, daß nur in dem Intervall von 90% bis 100% eine sehr starke Längenänderung stattfindet. Dort steigt die Eichungskurve stark an. Im übrigen zeigt die Kurve, wie aus Fig. 2 deutlich zu ersehen ist, eine Gestalt ähnlich einer Hyperbel.

Diese Kurve, die sich also beim Hin- und Rückgang deckt, zeigt die Kunstseide jedoch dann erst, wenn sie durch einen öfteren Wechsel von hoher und niederer Feuchtigkeit eine gewisse Alterung durchgemacht hat. Die erste Sättigung bringt keine wesentliche Verlängerung hervor. Doch der erste Rückgang, z. B. bis Zimmerfeuchtigkeit, bringt eine starke Verkürzung, wie Tab. 2, die in Fig. 3 erläutert ist, angibt. Man denke sich in dieser Figur die Versuchsskala abgebildet. Die Eckpunkte der Kurve sind die Endpunkte des Fadens bei abwechselnd Zimmerfeuchtigkeit und 100%. Zur besseren Übersicht ist der Vorgang seitwärts auseinandergezogen, so daß die Zickzackkurve entsteht. Die Kurve erreicht ziemlich schnell einen konstanten Wert für 100%, wohingegen für niedere Feuchtigkeitswerte sich erst allmählich ein fester Punkt findet. In Fig. 4a verlaufen also diese Alterungskurven zwischen den beiden sich im 100%-Punkt treffenden Kurven, bis schließlich die obere Kurve 1b als Gleichgewichtskurve sich einstellt.

Die nach dem Verfahren von Chardonnet hergestellte Kunstseide zeigte überdies noch ein eigenartiges Alterungsverhalten wie es Fig. 4 zeigt. Nachdem die eben besprochene Alterung beendet und die Kurve 1b einige Tage gültig gewesen war, verkürzte sich, während die Glocke

100% Feuchtigkeit enthielt, der Faden um 12 mm. Die Verkürzung ging in mehreren Stunden also ziemlich schnell vor sich. Nach diesem Sprung zeigte der Faden wieder genau dieselbe Alterung wie sie in Fig. 4a schon dargestellt war.

Der Grund für diese eigenartige Erscheinung liegt vielleicht in der Herstellung der Kunstseide. Es wäre denkbar, daß beim Erstarren der Fäden in Wasser die Alkoholentziehung nicht vollständig bis ins Innere sich ausbreitet und auch die Denitrierung nicht vollständig vor sich geht. Die Alterung könnte also darin bestehen, daß die Luftfeuchtigkeit besonders bei hohen Feuchtigkeitsgraden schießlich an den inneren unveränderten Strang gelangt und dort eine Veränderung veranlaßt, die zu der starken Verkürzung führt Eine ähnliche Erscheinung, z. B. ein Schrumpfen beim Lagern oder etwas Ähnliches ist weder in der Praxis noch in der Literatur bekannt, wie ich auf meine Anfrage bei der Kelsterbächer Kunstseidefabrik erfuhr. Trotzdem ist es nicht unwahrscheinlich, daß ähnliche Alterungserscheinungen der Kunstseide, die einen Zusammenhang mit dieser Erscheinung haben und zur Erklärung dienen könnten, bestehen. Es ist auch möglich, daß das Schrumpfen von Stoffen in der Wäsche, z. B. von Wolle und Leinen, mit dieser Verkürzung der Kunstseide in Beziehung steht. Dann wäre die Erscheinung nicht in der Herstellung der Kunstseide begründet, sondern eine der Zellulose eigentümliche, die dann vielleicht auch im Zusammenhang mit ihrer molekularen Quellung steht.

Ich beseitigte das Verkürzen der Chardonnetseide durch Vorbehandlung mit Wasser. Um diese künstliche Alterung zu beschleunigen, kochte ich das Wasser. Hierbei war die Kunstseide lose auf Glasrahmen gespannt, damit sie sich nicht verwirrte. Die hohe Temperatur des Wassers zeigte keinen schädlichen Einfluß auf die Fäden. Sie bietet jedoch keinen Vorteil gegenüber der Behandlung mit kaltem Wasser, da die Alterung nur sehr wenig dadurch beschleunigt wird. Nachdem die Kunstseide mehrere Stunden in Wasser gelegen hat, zeigt sich die Verkürzung nicht mehr. Dagegen

lassen sich die anderen Alterungserscheinungen nicht vollständig beseitigen, diejenigen nämlich, welche die Eichungskurve zwischen 2a und 2b (Fig. 4) verlaufen, und schließlich in 2b einstellen lassen.

Um ein vollständiges Bild von den hygroskopischen Eigenschaften der Kunstseide unterhalb 100 % zu haben, stellte ich noch die Einstellungsträgheit der Kunstseide im Vergleich zum Haar fest. Ich beobachtete die Zeiten, welche die zu vergleichenden Substanzen zum Durchlaufen eines gewissen Feuchtigkeitsintervalls nötig hatten. Ich ging dabei von Zimmerfeuchtigkeit aus. In dem Augenblick, wo die mit Feuchtigkeit gesättigte Glocke über die zu untersuchenden Substanzen gestülpt wurde, und in den Augenblicken, wo die Substanzen ihre schon vorher bestimmten Sättigungsstellungen eingenommen hatten, wurden die Zeiten notiert. Verglich ich nun die Zeiten, welche die zu untersuchende Substanz und das Haar bis zum Einnehmen der Endstellung gebraucht hatten, so hatte ich damit die Einstellungsträgheit der Substanz relativ zum Haar. Diese Versuche wurden auch rückwärts angestellt, indem die Glocke wieder abgedeckt wurde. Es ergab sich, daß die Trägheit der Kunstseide für das Intervall von Zimmerfeuchtigkeit bis 100 % der des Haares ungefähr gleichkommt.

Nach diesen ziemlich umständlichen Vorbereitungen konnte ich daran gehen, die Kunstseide bei Feuchtigkeitswerten über 100 % zu untersuchen. Die Versuche wurden in der schon besprochenen Weise angestellt. Zunächst wurde die Glocke staubfrei gemacht. Dann konnte der Versuch begonnen werden. Auf ein gegebenes Zeichen wurden die Stellung des Index an der Skala, die Stellung des Galvanometerzeigers und die Thermometer des Augustschen Psychrometers abgelesen und gleichzeitig der Hahn, der die Glocke mit dem Vakuum verband, geöffnet. Sobald das Manometer an der Glocke eine Entspannung von etwa 10 cm anzeigte, was ziemlich plötzlich eintrat, wurde der Hahn wieder geschlossen. Darauf wurden in Abständen von 5 zu 5 Sekunden die Stellung der Substanz und die

Temperatur mit Hilfe des Galvanometers abgelesen. Der Versuch war beendet, wenn die Temperatur in der Glocke durch Wärmeaustausch mit der Umgebung wieder ihren alten Stand erreicht hatte. Die Kunstseide, und zwar beide Sorten, zeigten während dieser Versuche nicht die geringste Einwirkung der Übersättigung an.

c) Kokon

Die Kokonfäden, und zwar nicht imprägnierte, bezog ich von der Firma Leybold in Köln. Von irgendwelcher Vorbehandlung sah ich ab, da die Untersuchung keine Unregelmäßigkeiten in der Ausdehnung ergab, die dazu hätten Veranlassung geben können. Leider war es der Firma nicht möglich festzustellen, von welcher Seidenspinnerart die Kokonfäden stammten. Meine Resultate sind daher nicht ohne weiteres mit anderen vergleichbar. Denn es ist wohl möglich, daß die Fäden verschiedener Seidenspinner auch verschiedene Eigenschaften aufweisen.

Schon 1824 hat Babinet[1]) Kokonfäden für Hygrometer verwandt und ihre Empfindlichkeit kleiner als die der Menschenhaare, aber die Trägheit geringer gefunden. Dagegen stellte Wolpert[2]) eine größere Trägheit als beim Haar fest. Er fand auch, daß die Ausdehnung des Kokons durch Luftfeuchtigkeit, somit auch die Empfindlichkeit, ungefähr $^{16}/_{17}$ der des Haares betrug. Hier ist die Empfindlichkeit in rein physikalischem Sinne, wie bei einer Wage oder einem Galvanometer, als Ausschlag pro Einheit der Ursache gebraucht. In manchen wissenschaftlichen Büchern, z. B. in Wolpert: Die Luft und die Methoden der Hygrometrie, ist sie unzweckmäßigerweise für Trägheit verwandt, wogegen Empfindlichkeit durch Ausdehnung umschrieben ist.

Kokon ist zwar bedeutend reißfester als Kunstseide, aber die Fäden sind auch feiner. Ich mußte sie daher ebenso stark wie Kunstseide belasten. Der Einfluß der

[1]) Ann. de Chim. et de Phys. XXVII, 367.

[2]) Wolpert: Die Luft und die Methoden der Hygrometrie, Berlin 1899 S. 321. W. S. Löwenthal.

Belastung auf die Reversibilität ist lange nicht so groß wie bei Kunstseide. Auch das Strecken bei zu großer Belastung tritt nicht so merkbar auf wie bei der künstlichen Seide. Die Eichung der Kokonfäden ergab, daß sie sich proportional mit der Feuchtigkeit ausdehnen. Dieses Resultat ist auch schon von Wolpert auf Grund seiner Beobachtungen[1]) vermutet worden. Leider ist diese Proportionalität sehr abhängig von der Belastung. Die richtige Belastung ist sehr schwer zu finden, da sie ja, wie erwähnt, sehr klein ist und daher eine kleine Änderung schon Einfluß auf die Proportionalität hat. Sie betrug bei den von mir verwandten, ungefähr 18 cm langen Fäden 0,009 g. In diesem Falle war die Eichkurve eine grade Linie (Fig. 2). Hierbei konnte ich auch Wolperts Angabe, daß die Empfindlichkeit der Kokonfäden $^{16}/_{17}$ der des Haares beträgt, bestätigen.

Bei den Trägheitsmessungen fand ich in Übereinstimmung mit Babinet[2]), daß die Trägkeit der Fäden geringer ist als die des Haares, und zwar ungefähr halb so groß (s. Tab. 6). Daß Wolpert[3]) im Gegensatz hierzu die Trägheit größer als beim Haar gefunden hat, liegt vielleicht daran, daß die von ihm untersuchten Kokonfäden von einer anderen Seidenspinnerart stammten.

Trotz dieser guten Vorbedingungen, der Proportionalität der Ausdehnung und der geringen Trägheit, verliefen auch hier die Versuche bei Feuchtigkeitswerten über 100% völlig ergebnislos. Die Kokonfäden zeigten keine Übersättigung an. Wie schon erwähnt, waren für diese Versuche drei Fäden in der angegebenen Kreuzaufhängung angeordnet.

Da nun die beiden Substanzen Kunstseide und Kokon mit ihrer molekularen Quellung ebenso wie Gelatine nicht auf Übersättigungen reagierten, so wurde, wie schon ausgeführt ist, eine Substanz gewählt, die ähnlich wie das Haar gebaut ist und daher hoffen ließ, daß ihre komplizierte

---

[1]) Siehe Fußnote 2 auf S. 26.
[2]) Siehe Fußnote 1 auf S. 26.
[3]) Siehe Fußnote 2 auf S. 26.

Quellung sie dazu befähigen würde, Feuchtigkeitswerte oberhalb 100 % anzeigen zu können. Das war das Fischbein.

d) Fischbein.

Da das in den Handel kommende Fischbein meistens gefälscht ist, bezog ich direkt Walfischbarten von der Lehrmittelanstalt von Schlüter in Halle. Ich wählte eine Barte mit möglichst dünnen Borsten, die in der größten Dicke nicht mehr als $^3/_4$ mm stark waren. Es war eine Barte von Balaena mysticetus, dem Grönlandwal.

Ich entfette diese Borsten wie Haar in Äther, doch ergab sich für entfettete und natürliche kein Unterschied in den Resultaten. Da die Borsten in der von selbst sich darbietenden Dicke wegen ihrer Steifheit für die Untersuchung ungeeignet waren, schabte ich sie mit Glas zu ganz feinen Lamellen, die eine größte Breite von $^3/_4$ mm hatten und kaum papierdünn waren. Diese Lamellen wurden dann für Messungen unter 100 % als hängender Faden, für Versuche mit Übersättigung in der Kreuzanordnung verwandt.

Die Reißfestigkeit der Lamellen, überhaupt des Fischbeins, ist sehr gering. Trotzdem muß das Fischbein sehr stark belastet werden, um überhaupt brauchbare Werte zu ergeben. Die Belastung mußte so gewählt werden, daß sie die Festigkeitsgrenze beinahe erreichte. Sie betrug 7—9 g je nach der Dicke der Lamellen.

Die Notwendigkeit für diese starke Belastung liegt in der Trägheit des Fischbeins. Diese Substanz ist außerordentlich träge. Die natürlichen Borsten der Barten sind ungefähr zwölfmal so träge als Haar, und selbst die papierdünnen Lamellen, die ich hieraus herstellte, übertreffen das Haar in dieser Eigenschaft noch um das sieben- bis neunfache (s. Tab. 6).

Aus diesem Grunde mußte ich, um nicht stundenlang auf die Einstellung der Lamellen warten zu müssen, durch starke Zugkraft, also hohe Belastung, die Trägheit vermindern und damit die Einstellung beschleunigen. Daher betrug die

Belastung im Durchschnitt 8 g. Diese starke Beanspruchung liegt noch gerade an der Grenze, um die Reversibilität nicht zu stören. Deshalb war die Belastung sehr schwer festzustellen, und es dauerte lange, bis die Lamellen die in Fig. 2 angegebene Eichkurve ergaben.

So waren die Vorbedingungen für die Versuche mit Übersättigung sehr ungünstig. Ich wählte für diese Versuche wieder die auf S. 17 beschriebene Kreuzaufhängung. Wie vorauszusehen war, verliefen die Versuche ohne Erfolg. Es liegt das sicher an der übergroßen Trägheit des Fischbeins. So war durch eine Nebenerscheinung leider nicht zu erkennen ob die komplizierte Quellung des Fischbeins es zum Anzeigen von Übersättigungen befähigt oder nicht. Wäre es möglich, die in der Glocke erzeugte Übersättigung für längere Zeit, etwa auf die Dauer einer Stunde, festzuhalten, so würde man vielleicht erkennen können, ob Fischbein auf Übersättigung reagiert.

III.

Zusammenfassung und Beurteilung der Versuchsergebnisse.

Alle drei untersuchten Substanzen Kunstseide, Kokon und Fischbein zeigen keine Übersättigung der Luft an Feuchtigkeit an.

Für Messungen unterhalb 100 % kommt zur Verwendung bei Hygrometern nur Kokon in Betracht. Kunstseide ist zwar außerordentlich empfindlich, aber wegen seiner ungleichmäßigen Ausdehnung ohne praktische Bedeutung. Ebenso ist Fischbein wegen seiner ungewöhnlich großen Trägheit unbrauchbar. Es existieren zwar Fischbeinhygrometer, doch praktisch benutzt werden sie wohl nicht. Dagegen wäre Kokon der proportionalen Ausschläge und der geringen Trägheit halber dem Haar vorzuziehen. Freilich wäre wohl irgendwelche Konstruktion wegen der außerordentlichen Feinheit der Fäden zu vermeiden, sondern nur ein einfach hängender und belasteter Faden zu verwenden. Hierbei böte er noch den Vorteil, daß er in beliebiger Länge, also auch mit größerer Empfindlichkeit als das Koppesche Haarhygrometer anwendbar wäre. Denn die Gleichmäßigkeit der Kokonfäden ist bei der etwa 700 m betragenden nutzbaren Länge eines Fadens vielmehr gesichert als beim Haar.

Tabelle 1.

Haarh. %	Kunsts.	Werte zum Nachweis der Reversib. Haarh. %	Kunsts.	Haarh. %	Kunsts.
10	0,7	100	8,7	10	0,7
20	0,75	90	3,5	15	0,75
30	0,8	85	2,5	20	0,8
35	0,9	80	2,0	25	0,8
42,5	1,0	70	1,5	30	0,85
50	1,1	60	1,25	40	1,0
60	1,25	55	1,2	50	1,1
70	1,45	45	1,1	60	1,25
80	2,1	35	0,9	65	1,4
87,5	2,85	30	0,85	80	2,1
95	5,5	20	0,8	88	2,9
100	8,7	10	0,7	100	8,7

Tabelle 2.

Haarh. %	Kunsts.	
72	8,2	Vor Anfeuchtung
100	9,1	Erste Sättigung
72	0,8	Erster Rückgang
100	8,5	
72	1,1	
100	8,0	
72	1,3	
100	8,0	Für 100% konstant
72	1,45	
100	8,0	
72	1,6	
100	8,0	
72	1,6	Für 72% konstant

Tabelle 3.

Vor der Verkürzung.

Anfangswerte		Alterungswerte				Reversible Endwerte			
Haarh. %	Kunsts.	Haarh. %	Kunsts.	Haarh. %	Kunsts.	Haarh. %	Kunsts.	Haarh. %	Kunsts.
50	12,9	100	16,6	50	13,3	100	16,6	42	13,6
65	13,0	95	15,25	60	13,4	92,5	15,3	50	13,65
70	13,1	85	14,0	70	13,5	85	14,6	60	13,7
82	13,4	70	13,4	75	13,7	75	14,0	65	13,75
90	14,2	65	13,3	80	13,9	70	13,85	70	13,8
95	15,0	60	13,25	85	14,25	60	13,7	80	14,2
100	16,6	55	13,25	90	14,75	42	13,6	90	15,0
		50	13,25	100	16,6			100	16,6

Nach der Verkürzung.

Anfangswerte		Alterungswerte				Reversible Endwerte			
Haarh. %	Kunsts.	Haarh. %	Kunsts.	Haarh. %	Kunsts.	Haarh. %	Kunsts.	Haarh %	Kunsts.
100	4,6	44	1,2	100	4,6	45	1,75	100	4,6
92,5	3,0	55	1,3	90	2,9	57	1,8	90	3,0
86	2,0	70	1,5	80	2,1	68	1,9	85	2,5
80	1,6	80	1,75	75	1,80	76	2,15	68	1,85
68	1,35	85	2,2	70	1,75	85	2,5	60	1,8
60	1,2	90	2,7	60	1,7	92	3,2	50	1,8
53	1,1	100	4,6	50	1,7	95	3,65	40	1,75
44	1,0			45	1,7	100	4,6	45	1,75

Tabelle 4.

Haarh. %	Kokon	Werte zum Nachweis der Reversibil. Haarh. %	Kokon	Haarh. %	Kokon
100	5,8	10	4,5	100	5,8
90	5,7	25	4,7	85	5,6
80	5,5	35	4,9	75	5,4
70	5,35	48	5,0	70	5,35
60	5,2	55	5,15	60	5,2
50	5,0	60	5,25	55	5,15
40	4,9	65	5,3	45	4,95
30	4,8	75	5,4	30	4,85
20	4,65	90	5,65	20	4,7
10	4,5	100	5,8	10	4,55

Tabelle 5.

Haarh. %	Fischbein	Werte zum Nachw. der Reversibilität Haarh. %	Fischbein	Haarh. %	Fischbein
10	2,2	100	7,7	10	2,3
17,5	2,4	85	5,95	20	2,6
25	2,6	75	5,0	25	2,6
40	3,0	70	4,7	35	2,8
50	3,45	60	4,1	45	3,1
60	4,0	55	3,8	50	3,4
70	4,7	40	3,1	60	3,9
80	5,35	30	2,8	75	4,75
90	6,4	20	2,5	90	6,3
100	7,7	10	2,3	100	7,75

Tabelle 6.

Kunstseide.

	vorwärts			rückwärts			vorwärts			rückwärts			Trägh. in bezug auf das Haar
Zeit in Min.	0	2	$2^3/_4$	0	$2^1/_{30}$	$2^3/_4$	0	$1^3/_4$	2	0	$1^3/_4$	2	
Stand Haar	60%		100%	100%		60%	70%		100%	100%		70%	
Stand Kunsts.	1,2	8,7		8,7	1,2		1,5	8,7		8,7	1,5		0,7 bis 0,9

Kokon.

	vorwärts			rückwärts			vorwärts			rückwärts			Trägh. in bezug auf das Haar
Zeit in Min.	0	$^3/_4$	$1^1/_2$	0	$^3/_4$	$1^1/_2$	0	$1^1/_2$	$2^3/_4$	0	$1^1/_3$	$2^1/_3$	
Stand Haar	75%		100%	100%		75%	62%		100%	100%		62%	
Stand Kokon	5,45	5,8		5,8	5,45		4,1	5,8		5,8	4,1		0,5 bis 0,6

Fischbein.

	vorwärts			rückwärts			vorwärts			rückwärts			Trägh. in bezug auf das Haar
Zeit in Min.	0	$2^3/_4$	19	0	$2^3/_4$	24	0	2	15	0	2	$18^1/_2$	
Stand Haar	60%	100%		100%	60%		75%	100%		100%	75%		
Stand Fischb.	4,0		7,7	7,7		4,0	5,0		7,7	7,7		5,0	7 bis 9

Die vorliegenden Untersuchungen wurden im Physikalischen Institut der Universität Marburg ausgeführt. Auch an dieser Stelle möchte ich meinem hochverehrten Lehrer,

Herrn Prof. Dr. F. Richarz,

für die Anregung zu dieser Arbeit und das mir stets entgegengebrachte Wohlwollen meinen ehrerbietigsten Dank aussprechen.

Herrn **Dr. K. Stuchtey** bin ich für viele freundliche Ratschläge zu Dank verpflichtet.

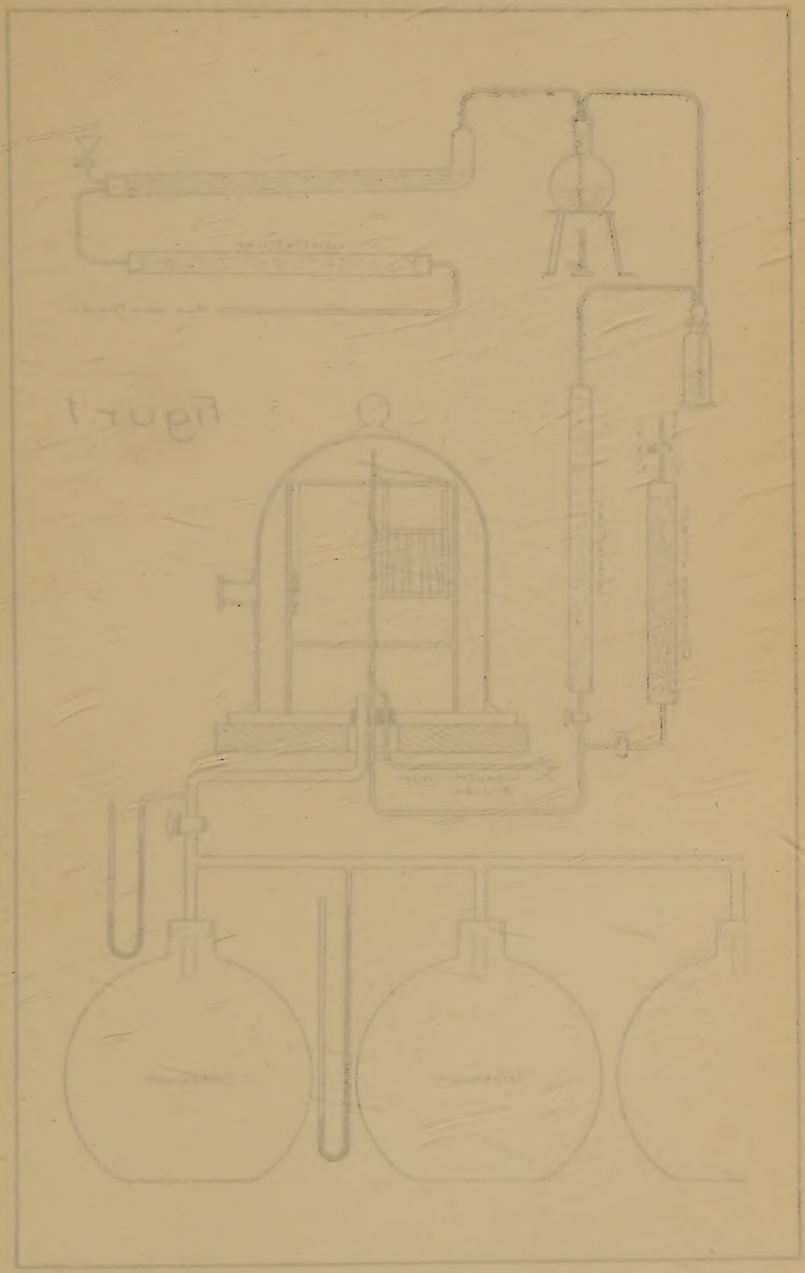
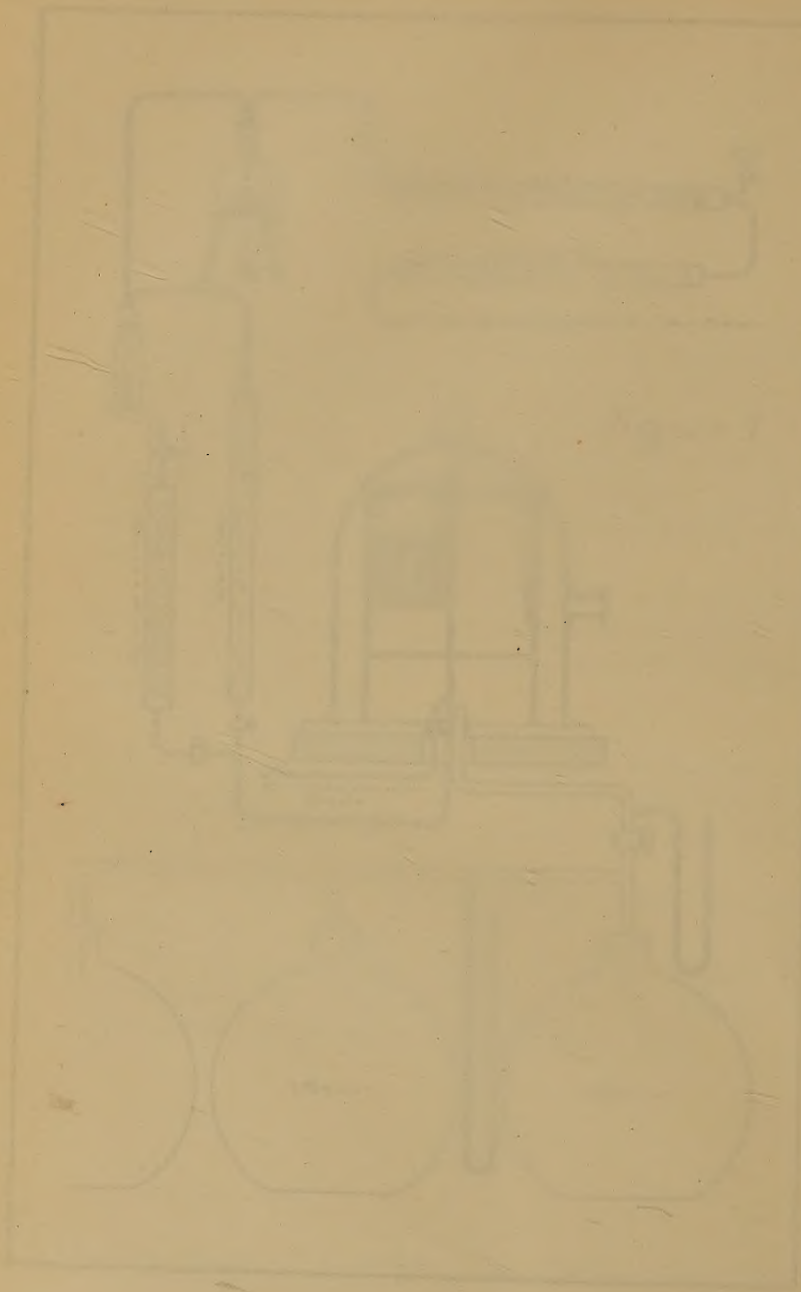
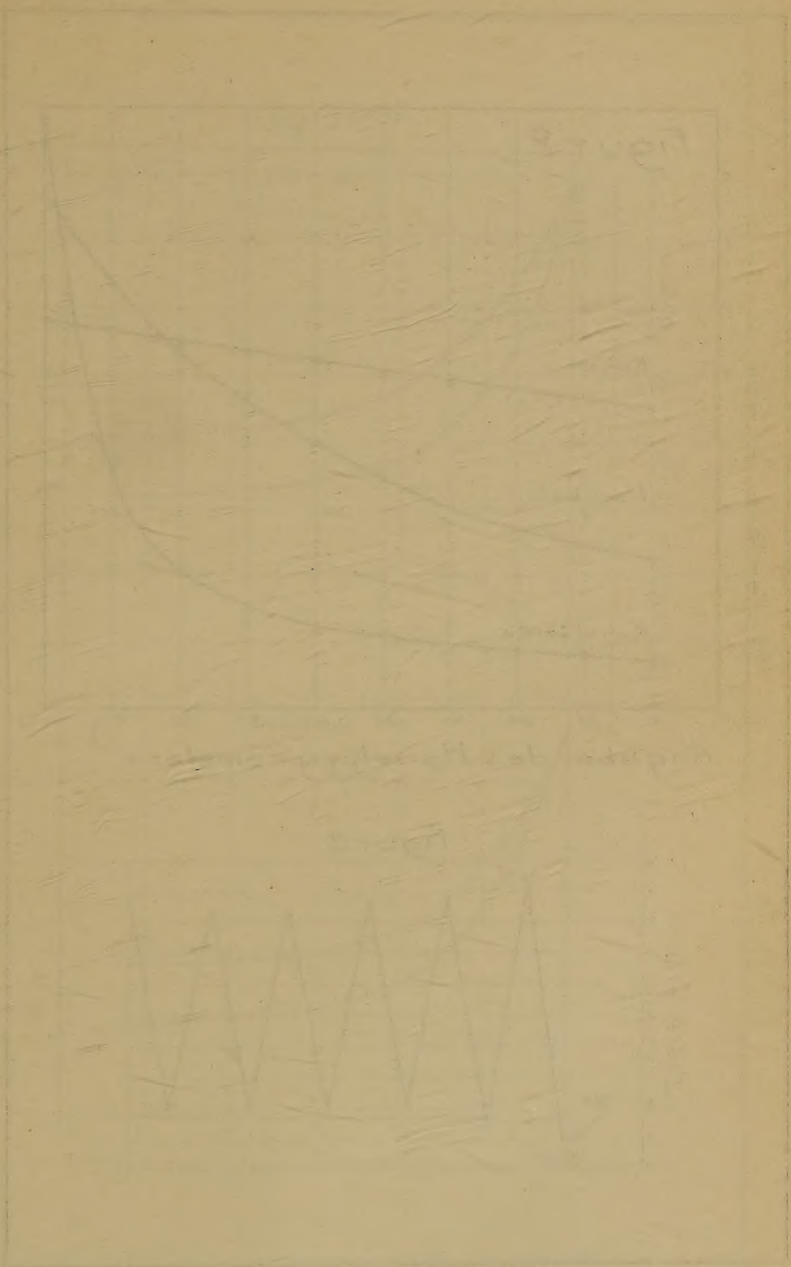
Lebenslauf.

Am 26. Juni 1888 wurde ich, Hugo Friedrich Rudolf Stolze, als Sohn des Ingenieurs Hugo Stolze in Büdelsdorf, Kreis Rendsburg, geboren. Ich bin Preuße.

Von Ostern 1894—97 besuchte ich in Rendsburg die Vorschule des Kgl. Realgymnasiums, in dessen Sexta ich dann aufgenommen wurde. Ostern 1907 verließ ich die Anstalt mit dem Zeugnis der Reife.

Ich widmete mich hierauf an der Universität Berlin dem Studium der Mathematik und der Naturwissenschaften. Nach Ostern 1909 setzte ich es an der Universität Marburg bis zum Herbst 1913 fort.

Meine akademischen Lehrer waren
in Berlin: Blasius, Börnstein, E. Fischer, Frobenius, Hahn, Lehmann-Filhés, Nernst, Riehl, Rubens, Scheffer, Schur, H. A. Schwarz, Simmel, Slaby, Straßmann, Stumpf, Wehnelt, Weinstein,
in Marburg: Dalwigk, Feußner, Hellinger, Hensel, Neumann, Richarz, Schulze, Schwarz.

Das Rigorosum bestand ich am 17. Dezember 1913. Seit Oktober desselben Jahres bin ich als Erzieher am Vilmarschen Institut in Melsungen (Kassel) tätig.

Druck von C. Schulze & Co., G. m. b. H., Gräfenhainichen.